

UNIVERSIDAD DE SONORA.



**El saber de mis hijos
hará mi grandeza**

ACADEMIA DE INGENIERÍA EN MINAS.

TEMA DE TESIS.

“MANUAL DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS”.

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MINERO.**

PRESENTADA POR:

ÁLVARO ANTONIO MAYTORENA RIVERA.

JONATHAN ORDUÑO SALAZAR.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO.

I) INTRODUCCIÓN.....	pág.
II) OBJETIVO.....	pág.
III) ¿QUÉ ES LA MECÁNICA DE ROCAS?.....	pág.
IV) DEFINICIÓN DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.....	pág.
V) NORMAS ASTM.....	pág.
V.I) NORMAS QUE RIGEN A CADA UNA DE LAS PRUEBAS.....	pág.
VI) EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA LA REALIZACIÓN DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.....	pág.
VII) EQUIPOS DE TRABAJO.....	pág.
VII.I) ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.....	pág.
VII.II) MANTENIMIENTO.....	pág. 2
VIII) PROCEDIMIENTO DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.....	pág.
VIII.I) RECEPCIÓN DE MUESTRAS.....	pág.
VIII.II) CORTE DE MUESTRAS.....	pág.
VIII.III) PULIDO DE MUESTRAS.....	pág.
VIII.IV) ENSAYE DE MUESTRA CON EQUIPO ESPECIFICADO.....	pág.
VIII.V) REGISTRO DE DATOS.....	pág.
VIII.VI) TRATADO DE MUESTRAS DESPUÉS DE SER ENSAYADO.....	pág.
VIII.VII) ENTREGA DE REPORTE Y MUESTRAS.....	pág.
IX) MÉTODO DE REALIZACIÓN DE CADA PRUEBA.....	pág.
IX.I) PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	pág.
IX.II) PRUEBA DE CARGA PUNTUAL.....	pág.
IX.III) PRUEBA BRAZILEÑA.....	pág.
IX.IV) PRUEBA DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	pág.
X) CONCLUSIONES.....	pág.
XI) BIBLIOGRAFIA.....	pág.
XII) GLOSARIO.....	pág.

I. INTRODUCCIÓN.

En el presente reporte se presenta básicamente los métodos de preparación de probetas de roca para las pruebas mecánicas disponibles en el laboratorio de Mecánica de Rocas del Departamento de ingeniería en Civil y Minas de la Universidad de Sonora, ya que dichos ensayos se utilizan para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas como son densidad, porosidad, módulo de deformación, razón de Poisson, resistencia al corte, compresión y tensión, etc. Las magnitudes de los parámetros encontrados en laboratorio serán usados para el diseño ingenieril de obras civiles como la construcción de túneles, cimentaciones y estabilización de taludes carreteros, y como en la ingeniería en minas o geología, en el cual la mecánica de rocas además del diseño de pilares y rebajes de minas subterráneas, ha sido considerada tradicionalmente como un asunto ligado primordialmente a la seguridad. Lo que es muy importante para la reducción de caída de rocas, evitando o minimizando daños al personal y a los equipos, como también es influyente en los aspectos económicos de las operaciones mineras.

Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica. Siempre sea utilizada la roca en las construcciones civiles las cuales en su cimentación transmiten las cargas de la estructura al suelo de desplante. Para proyectar y construir a la cimentación, es necesario conocer las propiedades de los materiales que serán empleados, ya sea que las dimensiones de la cimentación están directamente relacionadas con las propiedades de los pétreos y el suelo.

La mecánica de rocas es una ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento físico de las rocas sometidas a condiciones de esfuerzo de diversos orígenes. En términos generales, la mecánica de las rocas abarca el estudio de las

obras subterráneas, como los túneles, y la construcción en superficie, como las canteras a cielo abierto o las cimentaciones de presas.

Al igual el objetivo primordial de este manual es informar a los estudiantes sobre los equipos y ensayos disponibles en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la carrera de Ingeniería en Minas de la Universidad de Sonora.

II. OBJETIVO.

Elaborar un Manual de laboratorio de mecánica de rocas para que sea utilizado como guía de consulta para los estudiantes prestadores del servicio social de la carrera de Ingeniería en Minas de la Universidad de Sonora, y toda aquella persona interesada sobre la realización de las pruebas de laboratorio.

En el manual se ilustran fotografías del equipo y procedimientos para la realización de ensayos, describiendo en forma clara y precisa su funcionamiento. Además de crear una logística de trabajar con las normas ASTM que son estándares establecidos y aceptados a nivel internacional encargadas de regular los ensayos. Así como elaborar los formatos de recepción de datos, ya sea para la recepción de muestras, al momento de recibirlas en el laboratorio o para la organizar la captura de los resultados de las pruebas realizadas.

Realización de formatos electrónicos haciendo uso del programa Microsoft Excel y el programa de Word. Además comprensión sobre los diferentes diámetros de barrenos que se utilizan, los más frecuentes son el NQ que es superior a 47mm. Y el HQ que es mayor a 60mm. Estos son los dos principales diámetros que son requeridos para lograr desarrollar nuestras pruebas.

III. ¿QUÉ ES LA MECÁNICA DE ROCAS?

La disciplina Mecánica de Rocas estudia las propiedades y comportamiento mecánico de la roca, con el fin de diseñar y construir con criterios de ingeniería obras temporales (generalmente mineras) u obras permanentes (generalmente civiles), empleando la roca como material estructural. La mayoría de las excavaciones mineras son de carácter temporal, tal como es el caso de tajos; mientras se mantenga un acceso seguro durante el tiempo necesario para extraer el mineral circundante y el comportamiento posterior de la excavación no sea un obstáculo para las demás operaciones; estas dejan de ser importantes luego de un tiempo corto.

Sin embargo, podemos citar excavaciones subterráneas mineras de carácter permanente, que además de sus grandes dimensiones, son el centro de trabajo de personal y equipo costoso, debiendo permanecer operativas durante la vida útil de la mina, tal es el caso de tiros, galerías y/o rampas de extracción, y/o bombeo. Así mismo tenemos el caso de minados de alta productividad, donde resulta imprescindible predecir el comportamiento de la masa rocosa circundante, por su implicancia en los niveles de producción y costos (minado subterráneo por cámaras y pilares, minado subterráneo por hundimiento, minado a tajo abierto).

En la disciplina Mecánica de Rocas, el "material de construcción" (masa rocosa) se caracteriza por ser discontinuo, anisotrópico y no estandarizado (a diferencia del concreto fierro de construcción y/o acero estructural); por ello incluye muchos aspectos no considerados en otros campos de la mecánica aplicada:

Diseños fundamentados en:

Modelos empíricos: basados en la determinación cuantitativa de factores relevantes en el comportamiento mecánico y correlación estadística de casos anteriores.

Modelos numéricos: basados en principios de la teoría de la elasticidad y en la teoría de la plasticidad. Todo lo anteriormente desarrollado nos permite expresar que los ensayos de laboratorio permiten caracterizar al material estructural (masa rocosa) con fines de diseño y construcción.

IV. DEFINICIÓN DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

ENSAYO.	OBJETIVO.	PREPARACIÓN.	COMENTARIO.
COMPRESIÓN SIMPLE.	DETERMINAR EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO DE UN TESTIGO CILINDRICO DE ROCA.	LAS ROCAS DE LOS TESTIGOS CILINDRICOS TIENEN QUE SER PARALELOS LOS EXTREMOS INFERIOR Y SUPERIOR.	ES EL ENSAYO DE RESISTENCIA MÁS COMÚN EN MECÁNICA DE ROCAS PERO ES LABORIOSO Y COSTOSO.
CARGA PUNTUAL.	USADO PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL DE LA ROCA.	POCA PREPARACIÓN.	BIEN EJECUTADO PUEDE REEMPLAZAR AL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.
PRUEBA BRASILEÑA.	DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE UNA ROCA A TRAVÉS DE UN ENSAYO DE COMPRESIÓN EN UN DISCO DE ROCA.	LOS TESTIGOS CILINDRICOS DE ROCA SE CORTAN EN DISCOS.	RESULTA UNA ALTERNATIVA AL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA.
PRUEBA DE PROPIEDADES FÍSICAS.	DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS UTILIZANDO EL PRINCIPIO DE ARQUÍMIDES.	OBTENER PEDAZOS DE MUESTRA CON PESO DE 50 GRAMOS A MAXIMO 250 GRAMOS.	ES MUY UTIL PARA EL TRABAJO EN MINAS SOBRETUDO EL MOVIMIENTO DE MATERIAL.



Figura 1. Prueba de Compresión Simple realizada con prensa hidráulica.



Figura 2. Prueba de Carga Puntual realizada con Prensa Franklin.



Figura 3. Prueba de Tracción Indirecta (Brasileña).



Figura 4. Prueba de Propiedades Físicas.

V. NORMAS ASTM.

¿Qué son las normas ASTM?

Es la ASTM, la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (por sus siglas en inglés), es un grupo de miembros voluntarios que prueba y fija las normas de materiales y procedimientos.

Las normas ASTM las usan individuos, compañías, universidades y agencias en todo el mundo. Científicos e ingenieros las usan en sus laboratorios y oficinas. Estas normas son utilizadas y aceptadas mundialmente y abarcan áreas tales como metales, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente.



V.I. NORMAS QUE RIGEN A CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

Respecto a las normas que mencionaremos a continuación no son exactamente las mismas que aplicamos en nuestro laboratorio y tampoco las que utilizamos en los equipos con los que contamos pero son normas de lo más similares que encontramos buscando y consultando varias fuentes de información, se hace un hincapié de tratar de trabajar lo más apegadas a estas normas ya que algunos de nuestros equipos no cumplen con las especificaciones que ellas requieren, por lo consecuente se toma mucho en cuenta tratar de lograr una similitud a lo más posibles a ellas.

Desde la preparación de los testigos está basada bajo la norma ASTM 4543, para después que esta lista la preparación de testigos pasa a la siguiente norma correspondiendo del tipo de ensaye los siguientes ensayos están basados con su respectiva norma que son los siguientes.

Cuando nos corresponde a realizar el corte correspondiente de cada una de las pruebas nos rige la siguiente norma, Especificaciones de Máquina de Corte y Esmerilado 45-D0536 máquina cortadora de testigos y esmeriladora.

La norma en cargada de regularizar al ensayo de compresión simple es D2938 ASTM.

Para la prueba de carga puntual nos rige la norma D 5731-95 ASTM la cual nos dice que el aparato digital es el encargado de registrar las mediciones en KN la máquina llamada prensa Franklin.

Para la prueba de ensayo Brasileño o el ensayo de tracción indirecta se utiliza la norma ASTM D 3967.

Para las pruebas de Propiedades Físicas se rige por la norma ASTM D2216-98 I.

VI. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA LA REALIZACIÓN DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

El Equipo de Protección Personal (EPP) es sumamente necesario y obligatorio para la realización de los cortes requeridos para las pruebas ya que el EPP nos brinda seguridad a nuestras partes del cuerpo expuestas a poder sufrir algún accidente, el cual es una barrera de protección.

El EPP utilizado en el laboratorio es el siguiente:



- 1 Casco de seguridad con sordinas.

USO es mitigar el sonido que es muy fuerte de la cortadora y así poder disminuirlo y no sufrir de una posible pérdida auditiva.



- 2 Lentes de seguridad.

USO es bloquear todo material y pueda dañar nuestros ojos.



- 3 Respirador o Mascarilla de Seguridad.

USO el respirador nos ayuda a mitigar el polvo que entra a nuestro sistema respiratorio.



4 Mandil de Seguridad.

USO protege la ropa de cualquier residuo de agua o algún lodo.



5 Zapatos de Seguridad.

- USO protege en todo momento a nuestros pies de algún peligro con un material pesado.



6 Guantes de Seguridad.

USO protege las manos de posibles cortaduras mitigando cualquier peligro en manos.

También es importante usar ropa de trabajo como es:

- pantalón de mezclilla.
- camisola para realizar cortes.

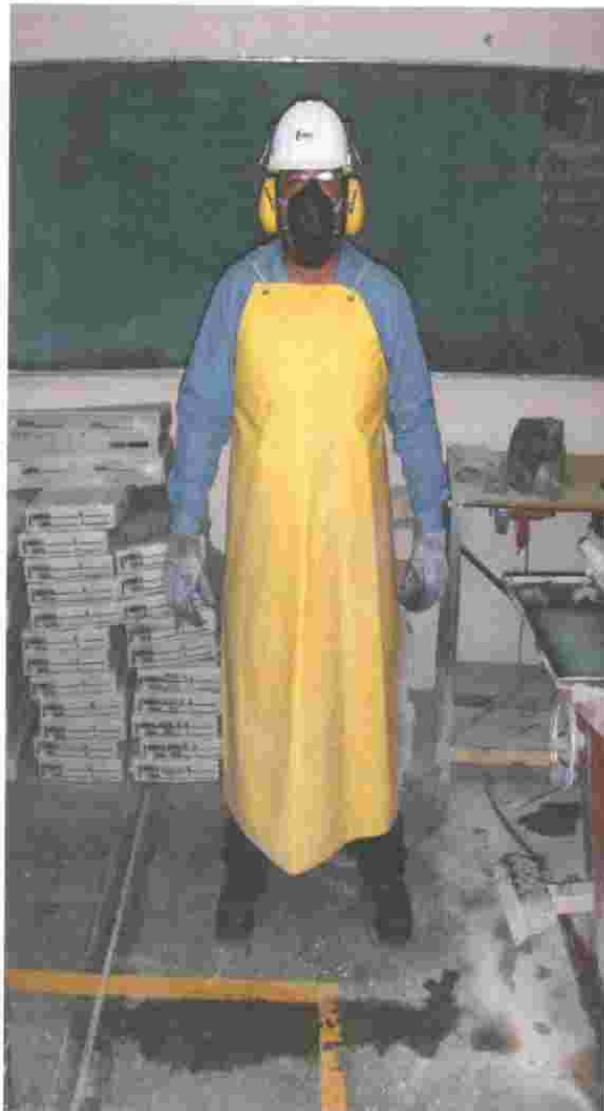


Figura 5. En la imagen se observa el Equipo de Protección Personal, además de la utilización de zapatos de seguridad y ropa de trabajo.

VII. EQUIPOS DE TRABAJO.

VII.I ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.

CORTADORA.

La máquina cortadora es utilizada para realizar los cortes de cada uno de los barrenos para definir su longitud, el cual es indicado correspondiendo a el tipo de prueba a aplicarse.

Primeramente el recipiente con el que cuenta la cortadora se debe de llenar de agua, ya llena de agua se introduce la bomba de agua para que el agua logre subir a la parte superior el disco el cual tiene un regulador. El agua es utilizada para tener un mejor corte además de que logra mantener una temperatura ideal para el disco,

- también mitiga la generación de polvos.



Figura 6. En la imagen se observa en forma lateral la cortadora.

ESMERIL.

El equipo de esmeril es utilizado para pulir los extremos del barreno, ya que en la prueba de compresión simple por norma nos pide que tiene que ser debidamente pulidos para lograr tener un mejor ensamblaje al momento de introducir en las placas de la prensa hidráulica y poder así lograr tener una mayor rigidez y por lo consiguiente un mejor resultado.

En el equipo de esmeril también es importante trabajar con agua para lograr tener un mejor pulido del barreno, además de que el agua ayuda a que no se desgaste rápidamente el disco, por igual lo mantiene en una temperatura ideal para el disco.

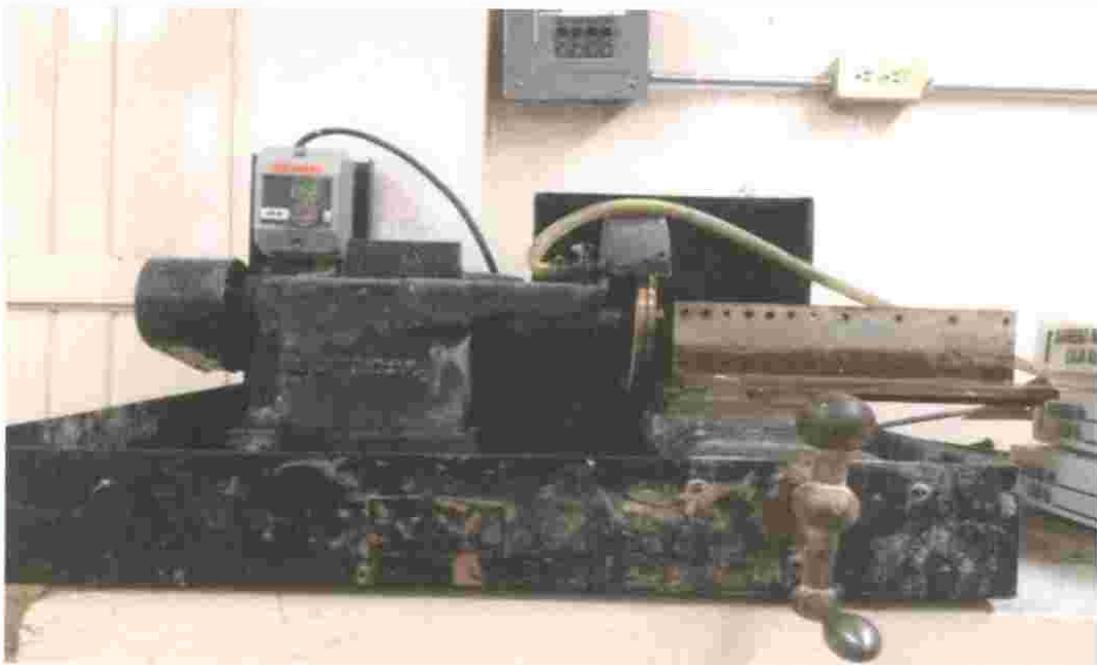


Figura 7. El esmeril es de suma importancia para algunas pruebas para el pulido de los extremos.

PRENSA HIDRÁULICA.

La prensa hidráulica es utilizada para conocer el grado de resistencia de la prueba de compresión simple, este equipo nos da la información requerida la cual es una resistencia expresada en Kilogramos, el cual realizamos una conversión a toneladas.

La forma de trabajo es accionando el elevador de placas hasta ajustar la muestra en el interior de la prensa logrando ensamblar la parte superior e inferior, y se procede accionar el botón de encendido y la palanca de esfuerzo.



Figura 8. En la imagen se observa como está compuesta la prensa hidráulica el cual cuenta con la parte de tronado y con la cabeza de información electrónica.

PRENSA FRANKLIN.

La prensa franklin es la utilizada para la realización de la prueba de carga puntual la cual cuenta con varios accesorios como es la parte de prueba donde se encuentran las puntas cónicas, donde se realiza la mayor fuerza, esta es accionada por un pistón de presión. Y al momento de lograr el máximo punto de fuerza este nos manda un registro a la caja electrónica donde nos indica cual fue su máxima resistencia en el punto medio del barreno y nos lo expresa en kN (kilo-Newton).



Figura 9. En la imagen se observa la Prensa franklin. En la cual se observa como está compuesta desde el cilindro de presión con la palanca, las puntas cónicas que generan una presión en la muestras, la caja electrónica receptora de la información del esfuerzo máximo en el barreno.

PRENSA PRUEBA BRASILEÑA.

La Prensa para Prueba Brasileña se utiliza para conocer el máximo esfuerzo que resiste la roca a este tipo de ensayo en las unidades en Kilo-Newton.

El trabajo que realiza la prensa es con 2 barras rectas que se colocan a lo largo del barreno, en la parte superior e inferior de la muestra, (estas deben de colocarse paralelas para evitar errores en los resultados), una vez colocadas las barras se procede aplicar presión realizando varias palancadas hasta lograr tener la zona de falla.



Figura 10. Se muestra la Prensa brasileña.

HORNO DE LABORATORIO.

El horno de laboratorio tiene un uso común de deshidratar y secar las muestras que se colocan dentro. Va ascendiendo su temperatura mediante transcurre el tiempo, así hasta llegar a la temperatura deseada manteniéndose el térmico que esta contiene estable, si llega a bajar la temperatura el térmico se vuelve a encender regresando a la temperatura deseada.



Figura 11. Se muestra el horno de laboratorio.

DENSIMETRO.

El Densímetro es un instrumento de medición que sirve para calcular la densidad de las muestras, así como su relación masa con el volumen de cualquier objeto o en este caso muestras de roca.



Figura 12. Se muestra el Densímetro.

VII.II MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de los equipos es fundamental ya que alargan la vida útil de cada equipo, juega una parte muy importante darle los mantenimientos en tiempo y forma, de esta manera se logran realizar los ensayos de una mejor calidad. Es importante revisar los equipos cada vez que se ensaye y así poder visualizar de cualquier avería en el equipo.

CORTADORA.

El mantenimiento de la cortadora consiste en:

- En la parte de la tina de agua cada cierto tiempo quitar con espátula la parte dañada de chapopote y por consiguiente volver a aplicar una cubierta nueva de este. Esto se realiza para evitar que el agua oxide nuestro equipo.
- Revisar el funcionamiento del disco ya que este por el uso tiende a un desgaste ya que algunas ensayos de roca contiene material abrasivo, por igual se debe de aplicar aceite en el eje rotatorio del disco para que este gire de manera correcta.
- Revisar que la bomba funcione de manera correcta y logre bombear el agua a la parte superior, por lo que es necesario aplicar una limpieza en la boca de extracción.

ESMERIL.

El mantenimiento del Esmeril consiste en:

- Revisar que el disco de pulido no este desgastado.
- Aplicar aceite en la parte del eje central del disco.

PRENSA HIDRÁULICA.

El mantenimiento de la Prensa Hidráulica consiste en:

- Revisar continuamente su calibración para evitar anomalías en el equipo y datos erróneos.
- Aceitar sus partes de mayor desgaste.

PRENSA FRANKLIN.

El mantenimiento de la Prensa Franklin:

- Revisar la presión de la prensa aplicando Varias palancadas para verificar que este bombeando correctamente y no tenga alguna fuga.
- Revisar la caja electrónica que nos indique el valor correcto en el registro.

PRENSA PRUEBA BRASILEÑA.

- Revisar la presión de la Prensa Brasileña aplicando Varias palancadas para verificar que se bombee de manera adecuada y que no tenga fugas de aceite.

HORNO DE LABORATORIO.

- Eliminar residuos de las pruebas ensayadas y siempre remover cualquier objeto que se introduzca.
- Revisar periódicamente dejando el horno encendido durante 24 horas para verificar si es posible realizar la Prueba de Propiedades Físicas.

DENSIMETRO.

- Mantener siempre limpio el densímetro y todos sus componentes.
- Siempre que se realice una prueba colocar agua nueva y limpia para evitar que la muestra tenga residuos de otras pruebas y esta arroje un valor erróneo.
- Revisar que siempre se mantenga nivelado el densímetro para evitar errores al obtener resultados.

VIII. PROCEDIMIENTO DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS.

VIII.I .RECEPCIÓN DE MUESTRAS.

Al momento que llegan al laboratorio los ensayos se procede a verificar el contenido de cada caja de barrenos en cual contiene diversos números de barrenos, la verificación se realiza haciendo un check-list, el resultado de este es una claridad con el cliente al momento de dejar sus cajas de barrenos y se tenga un conteo claro de barrenos y cada ensayo requerido.

La verificación consiste en:

- Especificación en el tipo de ensayo.
- Diámetro de barreno.
- Largo de la muestra.
- Calidad de roca.

Por lo siguiente se procede a tener una identificación clara del número de orden de cada caja de barrenos.

En la siguiente página se observara la tabla 1, donde se presentan los requisitos que se toman en cuenta en el check-list.

Laboratorio: Laboratorio de Mecánica de Rocas Universidad de Sonora							Fecha de Solicitud:		
N° Proyecto:							Solicitado por:		
Barreno:							Recibido por:		
Proyecto:							Entrega de Resultados:		
N° Muestra	Prof. (m)	Tipo de muestra	Ensayo de tracción (ensayo)	Corte Directo	Ensayo de Compresión	Propiedades	Ensayo Triaxial	Carga Puntual	Observaciones
Total		0	0	0	0	0	0	0	
Check List Lab						SI	NO		
Identificación acorde a la etiqueta						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Adecuados para los ensayos						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Muestras suficientes						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Métodos definidos						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Información adicional completa						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Tabla 1. Tabla de check list utilizada para la identificación de barrenos.

VIII.II. CORTE DE MUESTRAS.

El corte de la muestra es un punto muy importante ya que gracias a un buen corte se cumplen las especificaciones del ensayo requerido, para dicho corte se debe cumplir con las normas ASTM que el ensayo requiera, al igual se debe de tener todo el equipo de protección personal porque es una acción sumamente peligrosa.

Para la realización del corte primero se mide con el equipo de medición de diámetro milimétrico (vernier), el cual después este diámetro promedio se multiplicara por el factor de ensayo requerido, para lograr saber la longitud adecuada.



Figura 13. En la imagen se observa cómo se coloca la muestra para la realización del corte de la muestra.

Una vez tenido esta dicha longitud se procede a marcarla en su parte longitudinal para lograr tener una referencia al momento de corte.

Después de ser marcada el barreno se procede a cortar la muestra, esto se realiza apoyando el barreno en la tabla exactamente alineada con la marca y el disco.

Manteniendo con firmeza el barreno con la mano izquierda y después de verificar la alineación para realizar el corte, se procede a prender la cortadora y con la mano derecha se toma de la máquina para bajar el disco y realizar el corte lentamente.



Figura 14. En la imagen se observa la realización del corte de la muestra.

VIII.III. PULIDO DE MUESTRAS.

- El pulido de muestras se realiza dependiendo el tipo de ensaye a realizar ya que por norma se debe de realizar como lo es el tipo de ensaye de Compresión Simple, el cual se debe de realizar el pulido de la muestra en ambos extremos del barreno para lograr tener las caras lisas, para que al momento de ser ingresada a la prensa y aplicarle la presión lograr que las placas se ajusten perfectamente y de esta manera tener una presión efectiva.
- El equipo con el que se realiza el pulido es con la máquina pulidora el cual consiste en esmeril y se le inyecta agua para ir cortando los extremos, además de evitar la generación de polvos y mantener en una temperatura optima el disco de pulido.



Figura 15. En la Imagen se observa la máquina de pulido (esmeril), con esta máquina se pulen los extremos de la muestra ya sea en forma cilíndrica o cuadrada.

VIII.IV ENSAYE DE MUESTRA CON EQUIPO ESPECIFICADO.

Los ensayos de cada una de las pruebas se hacen con los siguientes equipos:

- Para el ensaye de la prueba de Compresión Simple utilizamos la prensa hidráulica la cual es la encargada de tronar nuestra muestra en forma de cilindro, este resultado nos lo da electrónicamente al momento que la muestra falla y nos lo da en kilogramos. En la siguiente imagen se muestra el equipo utilizado.



Figura 16. Este es el equipo utilizado para tronar los barrenos para la prueba de Compresión Simple.

- Para los ensayos de la prueba de Carga Puntual utilizamos la prensa hidráulica (Franklin) la cual colocamos en el centro de las puntas cónicas la muestra y procedemos a aplicarle presión bombeando con la palanca hasta

muestra y procedemos a aplicarle presión bombeando con la palanca hasta lograr que surja la fractura o zona de fallamiento, y este nos arroje un dato en la caja electrónica que es expresado en (kN). En la siguiente imagen se muestra la Prensa Franklin.



Figura 17. La imagen se observa la muestra a ser ensayada con la Prensa Franklin la cual al momento que la muestra presente muestra de fractura por el esfuerzo logrado por la presión de bombeo, este dato será mostrado en la caja electrónica.

- Para los ensayos de Tracción Indirecta se utiliza la prensa para Prueba Brasileña que nos permite conocer el máximo esfuerzo que resiste la roca a este tipo de ensayo en las unidades en Kilo-Newton.



Figura 18. Se muestra la Prensa brasileña.

- Para los ensayos de propiedades físicas se utiliza el densímetro es un instrumento de medición que utiliza el peso en seco y el peso de las muestras que son introducidas en agua, así para determinar su densidad y otras propiedades de cualquier objeto o en este caso muestras de roca.



Figura 19. Se muestra el Densímetro.

VIII.V. REGISTRO DE DATOS.

- Ensayadas las muestras en cada una de los equipos estos arrojan los diferentes resultados los cuales vienen expresados en: g, kg, kN.
- Por lo tanto estos resultados son ingresados a tablas de Excel los cuales son convertidos a las unidades correspondientes de cada prueba.
- Una vez realizado el paso anterior se le hace llegar los archivos de Word y Excel en los que se recolectaron los datos al encargado de laboratorio para que este proporcione una revisión para evitar que contengan algún error o fallo antes de ser entregada al cliente.
- Formato en Excel de Carga Puntual.

		Universidad de Sonora				
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas				
		Laboratorio de Mecánica de Rocas				
		Prueba de Carga Puntual				
Muestra	Caja	Profundidad	Peso(g)	Diámetro(mm)	Carga (N)	Índice de Carga Puntual Is (MPa)
FITZK-3	M-1	6.3-6.53	634	60.91	4080	1.0997
FITZK-4	M-1	5.25-5.40	752	63.05	7110	1.7885
FITZK-5	M-1	15.12-15.32	686	60.45	6230	1.7049
FITZK-6	M-1	11.94-12.10	532	59.99	4040	1.1226
FITZK-8	M-1	4.0-4.2	674	60.27	26390	7.2650
FITZK-14	M-1	9.54-9.8	714	60.39	17240	4.7272

Tabla 2. En la tabla de Excel se aprecian los datos requeridos de la prueba de carga puntual.

Formato en Word de Prueba de Carga Puntual.



UNIVERSIDAD DE SONORA

REPORTE DE CARGA PUNTUAL

	Proyecto: AUSENCO	Fecha de ensayo: 07 / MAYO / 2015	
Sample: 1	Muestra: M-1	Caja: FITZK-3	
Peso(g)	634		
Carga de Rotura (N)	4080	Factor f	
Diámetro (mm)	60.91	R. Comp. Simple (MPa) σ	
Índice de Carga Puntual (MPa)	1.09		
Fotografías que muestran el comparativo antes y después de aplicarles la carga indicada en las pruebas.			
Antes		Después	
PRUEBA DE CARGA PUNTUAL			
DESCRIPCION: La muestra tuvo un comportamiento al momento de ser ensayada logro el punto de ruptura de forma transversal partiendo en dos bloques a la muestra.		LABORATORISTAS: Álvaro Antonio Maytorena Rivera. RESPONSABLE DE LABORATORIO: Ing. Brenda M. Quijada Mayorquin	
PRUEBA DE CARGA PUNTUAL.			

Tabla 3. En la tabla se presenta como se reacomodan los datos en archivo en Word para el formato de carga puntual.

Formato en Excel de Prueba de Compresión Simple.

		Universidad de Sonora														
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas														
		Laboratorio de Mecánica de Rocas														
		Prueba de Compresión Simple														
Sample	Caja	D1sup(Cm)	D2sup(Cm)	D1med(Cm)	D2med(Cm)	D1inf(Cm)	D2inf(Cm)	Dp(Cm)	Longitud(Cm)	Peso Muestra (g)	Área(Cm ²)	Volumen(Cm ³)	Densidad(g/Cm ³)	Carga(Kg)	Esfuerzo(Kgf/Cm ²)	Esfuerzo(Mpa)
K	M-5	6.28	6.28	6.27	6.28	6.28	6.28	6.28	15.6	1194	30.96	482.95	2.47	1,412	45.609	4.5661
K-3	M-3	6.01	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02	15.1	1184	28.45	429.56	2.76	11,296	397.083	39.708
K-2	M-1	6.28	6.28	6.28	6.28	6.26	6.27	6.27	12.6	1024	30.91	389.46	2.63	6,928	224.140	22.414
K-4	M-1	6.05	6.06	6.06	6.04	6.06	6.06	6.06	11.9	826	28.83	343.04	2.41	11,316	392.551	39.255
K-4	M-3	6.07	6.07	6.07	6.06	6.05	6.05	6.06	12	840	28.86	346.30	2.43	2,376	823.33	82.33

Tabla 4. En la tabla de Excel se aprecian los datos requeridos de la prueba de compresión simple.

Formato en Word de Prueba de Compresión Simple.



UNIVERSIDAD DE SONORA

COMPRESION SIMPLE

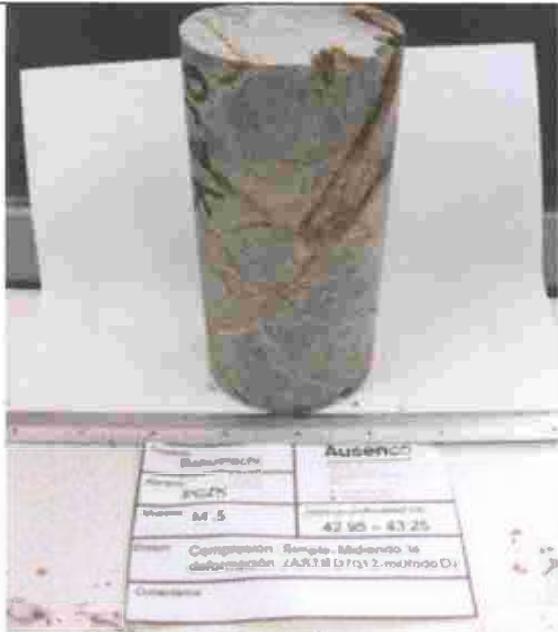
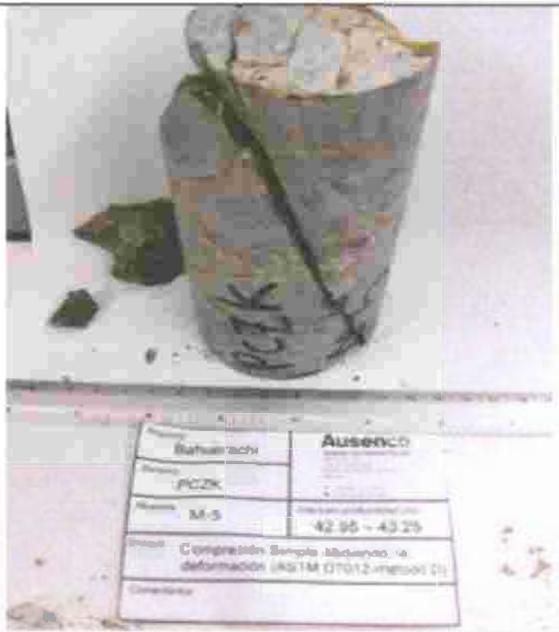
				Proyecto: AUSENCO		Fecha de ensayo: 07/ MAYO/ 2015	
Sample: 1		Muestra: M-5		CAJA: PZCK			
Diámetros				Peso muestra (g)		1194	
D1sup (Cm)	6.28	D2med(Cm)	6.27	Área (Cm2)		30.96	
D2sup (Cm)	6.28	D1inf(Cm)	6.28	Longitud (Cm)		15.10	
D1med(Cm)	6.28	D2inf(Cm)	6.28	Volumen (Cm3)		482.95	
D promedio: 6.28				Densidad (g/cm3)		2.47	
Fotografías que muestran el comparativo antes y después de aplicarles la carga indicada en las pruebas.							
Antes				Después			
							
Carga (kg): 1412				Esfuerzo (Mpa): 4.56			
DESCRIPCION: La muestra al momento de ser ensayada se comportó con una zona de estallamiento en lugares principales como las fallas observadas en ambas imágenes como tuvo su fallamiento.				LABORATORISTAS: Álvaro Antonio Maytorena Rivera, Carlos Enrique Valle de Anda, Álvaro Navarro Lugo, Jonathan Orduño Salazar RESPONSIBLE DE LABORATORIO: Ing. Brenda M. Quijada Mayorquin.			
PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE							

Tabla 5. En la tabla se presenta como se reacomodan los datos en archivo en Word para el formato de compresión simple.

Formato en Excel Prueba Brasileña.

		Universidad de Sonora											
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas											
		Laboratorio de Mecánica de Rocas											
		Prueba de Brasileña											
Muestra	Caja	D1(Cm)	D2(Crn)	Dp(Cm)	Longitud(Cm)	Peso Muestra (g)	Área(Cm ²)	Volumen(Cm ³)	Densidad(g/Cm ³)	Carga(KN)	Carga(Kg)	Esfuerzo(Kgf/Cm ²)	Esfuerzo(Mpa)
M#9*1	-	6.36	6.35	6.36	3.76	316	31.72	119.26	2.6	15	1529	48.21	4.821
M#9*2	-	6.35	6.35	6.35	3.48	290	31.67	110.21	2.6	14	1427	45.06	4.506
M#38	-	6.28	6.27	6.28	3.88	294	30.93	119.99	2.5	17	1733	56.04	5.604
M#2738 3	-	4.77	4.74	4.76	2.74	104	17.76	48.66	2.1	0.050	5	0.29	0.029
M#2738 4	-	4.78	4.74	4.76	2.49	94	17.80	44.31	2.1	0.20	20	1.15	0.115

Tabla 6. En la tabla de Excel se aprecian los datos requeridos de la prueba de tracción simple (brasileña).

Formato en Word Prueba Brasileña.

				Proyecto: Aguascalientes		Fecha de ensayo: 09 /Mayo/ 2015	
Sample: 2			Muestra: M # 9 * 2			Caja: FITZK-4	
Diámetros				Peso muestra (g)		286	
D1sup (Cm)	6.35	D2med(Cm)	-	Área (Cm2)		31.67	
D2sup (Cm)	-	D1inf(Cm)	6.35	Longitud (Cm)		3.48	
D1med(Cm)	6.35	D2inf(Cm)	-	Volumen (Cm3)		110.21	
D promedio: 6.35				Densidad (g/cm3)		2.6	
Fotografías que muestran el comparativo antes y después de aplicarles la carga indicada en las pruebas.							
Antes				Después			
 <p>M#9 P. BRASILEÑA SAMPLE 2</p>				 <p>M#9 P. BRASILEÑA SAMPLE 2</p>			
Carga (kg): 1,427		Carga (KN): 14		Esfuerzo (Mpa): 4.506			
DESCRIPCION: La muestra al momento de ser ensayada se fracturo verticalmente siguiendo una falla que se encontraba dentro del barreno.				LABORATORISTAS: Alvaro Antonio Maytorena Rivera, Carlos Enrique Valle de Anda, Alvaro Navarro Lugo, Jonathan Orduño Salazar RESPONSIBLE DE LABORATORIO: Ing. Brenda M. Quijada Mayorquin.			
PRUEBA BRASILEÑA							

Tabla 7. En la tabla se presenta como se reacomodan los datos en archivo en Word para el formato de prueba de tracción simple (brasileña).

Formato de Excel de Prueba de Densidad.

		Universidad de Sonora									
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas									
		Laboratorio de Mecánica de Rocas									
		Prueba de Densidad y Propiedades Físicas									
		Masa	Masa Saturada	Masa Sumergida en Agua	Masa después del Horno	Volumen Total	Volumen de Vacíos	Porosidad	Contenido de Agua	Densidad Seca	Absorción
Muestra	No. Muestra	M (g)	Msat (g)	Msub (g)	Ms (g)	V (cm ³)	Wv (c)	η (%)	ω (%)	ρd (g/cm ³)	(%)
1090wKD-VT-01	VT-01	106.39	106.27	65.37	105.51	40.9	0.76	1.86	0.83	2.58	0.72
1090wKD-VT-02	VT-02	155.58	154.2	92.7	151.38	61.5	2.82	4.59	2.77	2.46	1.86
860sBH-VT-03	VT-03	136.06	134.9	79.91	130.52	54.99	4.38	7.97	4.24	2.37	3.36
860sBH-VT-04	VT-04	69.98	69.87	42.56	69.23	27.31	0.64	2.34	1.08	2.53	0.92
860sCO-VT-05	VT-05	162.9	162.48	100.88	160	61.6	2.48	4.03	1.81	2.60	1.55
760NCO-VT-06	VT-06	106.22	105.4	62.96	102.65	42.44	2.75	6.48	3.48	2.42	2.68

Tabla 8. En la tabla de Excel se aprecian los datos requeridos de la prueba de propiedades físicas.

VIII.VI. TRATADO DE MUESTRAS DESPUES DE SER ENSAYADO.

Después de ser ensayadas las muestras se depositan en bolsas de plástico de 1 kg y se marcan con la especificación que la identifique para proceder a entregar el barreno ensayado y regresarle al cliente.

VIII.VII. ENTREGA DE REPORTE Y MUESTRAS.

La entrega de reporte y muestras es el último paso que se realiza en el laboratorio después de ser ensayadas las muestras y realizar las tablas de registros de datos donde al cliente se le entrega en los formatos correspondientes al tipo de ensaye, al igual se le entregan las muestras ensayadas y los residuos de estas las cuales son depositadas en bolsas de 1 kg para lograr mantener un control de ellas.

IX. MÉTODO DE REALIZACIÓN DE CADA PRUEBA.

IX.I PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.

I. OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO.

El objetivo principal de este procedimiento es ejecutar la operación de los instrumentos que se utilizan para realizar ensayos de compresión simple en un laboratorio de mecánica de rocas de una forma segura, previniendo cualquier acto o condición insegura que pueda dar como resultado un accidente y/o incidente que afecte la integridad física de la(s) persona(s) y/o equipo(s) que desempeñen sus labores dentro de este laboratorio así como también aprender este tipo de ensayo para que en un futuro aplicarlo profesionalmente.

Observaciones: Los testigos deben ser cilíndricos rectos circulares con una relación longitud-diámetro (L/D) entre 2 y 2.5. Deberá tener un diámetro mayor de 47 mm, cuando se cuente con testigos de menor diámetro como sucede en minería se deberá reportar en el informe. Muchos tipos de rocas fallan por compresión de manera violenta. Una malla protectora se coloca alrededor del testigo para prevenir posibles daños al volar los fragmentos de roca.

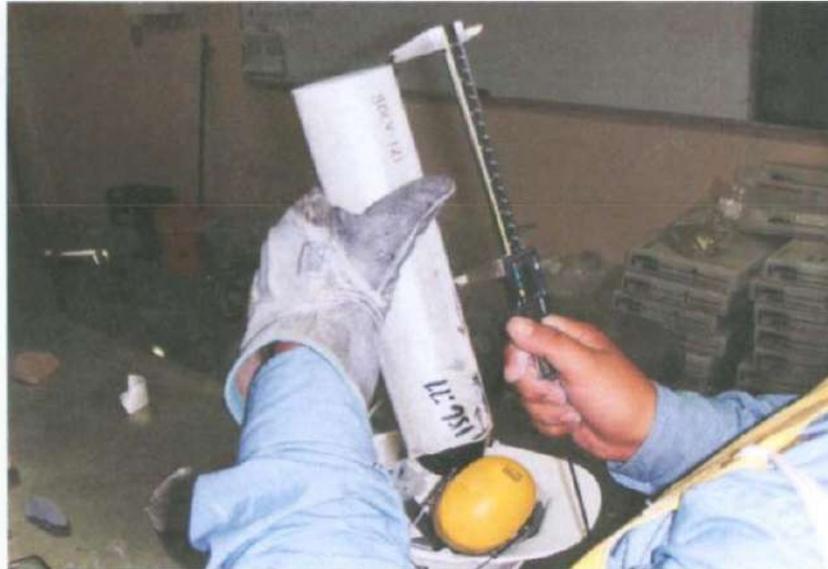


Figura 20. En la imagen se observa como es medida la longitud de la muestra que nos pide por norma, esta medición es obtenida por el promedio de la medición del diámetro multiplicada por el factor de la prueba.

Generalidades: Especificar el equipo, instrumentación y procedimientos empleados para determinar la resistencia máxima a la compresión sin confinamiento lateral en un testigo cilíndrico de roca. El valor de resistencia a la compresión es utilizado para la clasificación del macizo rocoso, como dato en fórmulas de diseño y como una propiedad índice para seleccionar la técnica de excavación apropiada.

II. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

2.1 Medidas Generales de Seguridad:

EQUIPO DE SEGURIDAD Y HERRAMIENTAS.

1. Casco de Seguridad.
2. Lentes de Seguridad.
3. Guantes de Seguridad.
4. Zapatos de Seguridad.
5. Ropa de Trabajo.
6. Bata de laboratorio.
7. Mascarilla contra polvos.
8. Tapones auditivos.

2.2 EQUIPO.

2.2.1 Máquina de ensayos. Una prensa capaz de medir la carga aplicada sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumple con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.

2.2.2 Bloques de asientos. La máquina de ensayos está equipada con dos bloques de asiento en forma de disco. Uno de los bloques, el inferior tiene una base esférica y el otro superior una base rígida. El centro del asiento esférico debe coincidir con el centro del testigo que será colocado sobre él. El asiento esférico debe estar siempre lubricado con aceite mineral o grasa de manera que gire libremente sobre su base.



Figura 21. En la imagen se observa la máquina utilizada para medir la resistencia a la compresión simple de las pruebas.

2.3 PROCEDIMIENTO

2.3.1 Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.

2.3.2 Realizar un check list de los equipos a utilizar.

2.3.3 Identificar las muestras.

2.3.4 Medir las dimensiones de la muestra.

2.3.5 Asegurar que el asiento esférico pueda girar libremente sobre su base.

2.3.6 Limpiar las caras de los bloques superior e inferior del testigo (equipo utilizado una pulidora).

2.3.7 Colocar el testigo sobre el asiento inferior. La carga y asiento superior se acercan hacia el testigo gradualmente hasta que se obtiene un asentamiento uniforme de la carga sobre el testigo.

2.3.8 La carga debe ser aplicada en forma continua con una razón constante de manera que la falla ocurra entre 5 y 10 minutos después de iniciada la carga.

2.3.9 Registrar la carga máxima aplicada sobre el testigo.



Figura 22. En la imagen se observa la muestra de compresión simple colocada en la prensa hidráulica antes de ser tronada.

III. RIESGOS ASOCIADOS AL PROCEDIMIENTO.

3.1 Riesgos Asociados al Procedimiento.

a) Riesgo por Maquinaria:

- Aplaste de manos y/o dedos al estar operando el equipo.

b) Riesgos por Método de Trabajo:

- Polvo.
- Tropiezos.
- Incidencias.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

RESPONSABLE.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.	REGISTRO.
Operador del Equipo.	Realizando el ensayo de compresión simple.	
Operador.	Supervisión del equipo para su correcto manejo.	

(En este campo se aplicara o detallara cada una de las actividades para la ejecución de este procedimiento).

V. FORMATOS E INSTRUCTIVOS.

- Formato de ensayo de compresión simple:
- Tablas de Excel.
- Reporte en Word.

VI. ANEXOS.

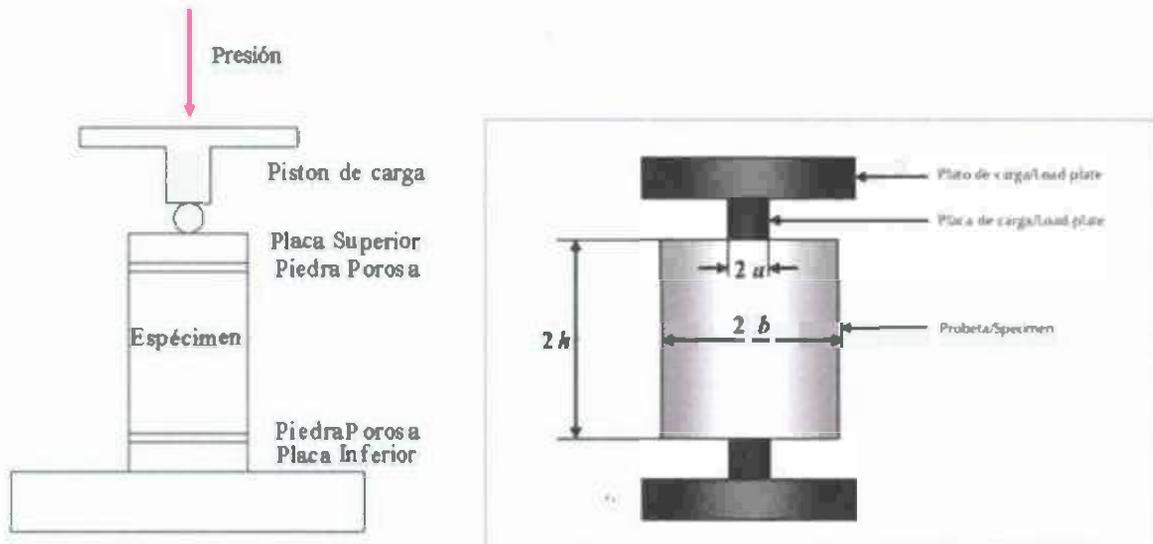


Figura 23. Se observa las partes principales de la prensa.

VII. CÁLCULOS.

El esfuerzo de compresión se obtiene dividiendo la máxima carga aplicada sobre el testigo durante el ensayo entre el área de la sección circular del testigo expresado en kgf/cm o KPa. Si la relación (l/d) es menor que 2 se hace una corrección al esfuerzo.

$$C = Ca / (0.88 + (0.24b/h))$$

kgf= kilogramos-fuerza.

C= resistencia corregida.

KPa= kilo-pascales.

Ca= resistencia ultima.

b= diámetro del testigo.

h= altura del testigo.

INFORME.

El informe debe incluir lo siguiente:

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Número, longitud, diámetro, peso, área, carga máxima, resistencia a la compresión y resistencia corregida si es necesario de cada testigo.

Por lo consecuente se debe de presentar dos tablas una en Excel donde se de muestran cómo se obtuvieron las formulas y la otra tabla es en un formato en Word.

En la siguiente tabla 1 se presenta el formato en Excel y se describe el formulario.

		Universidad de Sonora														
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas														
		Laboratorio de Mecánica de Rocas														
		Prueba de Compresión Simple														
Prueba	Caja	D1sup(Cm)	D2sup(Cm)	D1med(Cm)	D2med(Cm)	D1inf(Cm)	D2inf(Cm)	Dp(Cm)	Longitud(Cm)	Peso Muestra (g)	Área(Cm ²)	Volumen(Cm ³)	Densidad(g/Cm ³)	Carga(Kg)	Esfuerzo(Kgf/Cm ²)	Esfuerzo(Mpa)
K-1	M-5	6.28	6.28	6.27	6.28	6.28	6.28	6.28	15.6	1194	30.96	482.95	2.47	1,412	45.609	4.5661
K-3	M-3	6.01	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02	15.1	1184	28.45	429.56	2.76	11,296	397.083	39.708
K-2	M-1	6.28	6.28	6.28	6.28	6.26	6.27	6.27	12.6	1024	30.91	389.46	2.63	6,928	224.140	22.414
K-4	M-1	6.05	6.06	6.06	6.04	6.06	6.06	6.06	11.9	826	28.83	343.04	2.41	11,316	392.551	39.255
K-4	M-3	6.07	6.07	6.07	6.06	6.05	6.05	6.06	12	840	28.86	346.30	2.43	2,376	823.33	82.33

Tabla 9. En la imagen se presentan los datos obtenidos en la realización del ensaye a continuación se explica cómo se obtuvieron cada uno de los datos en la tabla.

R. T 160214

Explicación de cómo se obtienen las formulas:

Para obtener el diámetro promedio se realizan 6 mediciones que son:

- 2 mediciones de la parte superior del barreno.
- 2 mediciones centrales del barreno
- 2 mediciones de la parte inferior del barreno

Una vez ya obtenida las 6 mediciones se realiza un promedio con la suman todas las mediciones y se dividen entre el número total de mediciones y la unidad de longitud se expresa en cm.

La longitud es de la multiplicación del diámetro promedio por el factor requerido por la prueba y es tomada con el aparato electrónico vernier en unidad de longitud de cm.

- El peso de la muestra es tomado con una báscula electrónica en unidad de peso de gr.

El área del barreno la sacamos mediante la fórmula de $= (((D_p)^2) * 3.1416) / 4$

Donde:

D_p es el diámetro promedio elevado a la segunda potencia que es multiplicado por π y al final dividido entre 4.

El volumen del barreno lo obtenemos mediante la fórmula matemática de multiplicación que es (área por longitud) y es expresada en la unidad de (cm^3) .

La densidad del barreno la obtenemos con la fórmula matemática de la división del peso entre el volumen y se expresa con la unidad de (g/cm^3) .

La carga se obtiene cuando la muestra es ensayada con la máquina de prensa hidráulica el cual nos da la unidad en (Kg).

El esfuerzo se obtiene mediante la fórmula matemática de división entre la carga entre el área la cual nos da la unidad en (kgf/cm^2) .

Si la relación (L/D) es menor que 2 se hace una corrección al esfuerzo con la siguiente formula:

$$C = Ca / (0.88 + (0.24b/h))$$

Donde:

C = resistencia corregida

Ca= resistencia ultima

b = diámetro del testigo

h = altura del testigo

Referencias

ASTM D2938IS RM Suggested Method for Determination of the Uniaxial Compressive Strength of Rock Materials.

IX.II PRUEBA DE CARGA PUNTUAL.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL.

I.OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO.

El objetivo de este ensayo es medir la resistencia de testigos de roca al someterlos a cargas puntuales aplicadas mediante un par de piezas cónicas. Sirve para clasificar las rocas por su resistencia.

Observaciones: El ensayo determina el Índice de Resistencia I_s (50) en testigos de roca que requieren de poca preparación y que pueden tener formas regulares o irregulares.

La relación de esbeltez: El testigo a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 1.4$$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cm).

D = Diámetro de la probeta (cm).

Generalidades: El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS, según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa. Las ventajas de este ensayo son que se pueden usar muestras de roca irregulares sin preparación previa alguna y que la maquina es portátil.

Se utiliza en la clasificación de materiales rocosos. También para estimar otros parámetros de esfuerzo como por ejemplo: Tracción uniaxial o compresión uniaxial.

II. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

2.1 Medidas Generales de Seguridad:

EQUIPO DE SEGURIDAD Y HERRAMIENTAS.

1. Casco de Seguridad.
2. Lentes de Seguridad.
3. Guantes de Seguridad.
4. Zapatos de Seguridad.
5. Ropa de Trabajo.
6. Bata de laboratorio.
7. Mascarilla contra polvos.
8. Tapones auditivos.

2.2 Equipo.

El equipo utilizado es la versión portátil (Prensa Franklin) que consta de:

- Sistema de carga.
- Lector de carga.
- Marco de carga.

El marco de carga está diseñado y construido de manera que por la aplicación repetida de la carga no se desvíe y las puntas cónicas permanezcan coaxiales con una desviación máxima de 0.2 mm.

Se puede fijar en posiciones que permitan la colocación de testigos de roca con diferentes dimensiones. Generalmente estas dimensiones varían de 15 a 100 mm.

Dos puntas cónicas.

Las puntas cónicas deben tener asientos rígidos de manera que no existan problemas de deslizamientos cuando los testigos de geometría irregular sean ensayados.

Una de ellas está fija al marco de carga y la otra está situada en el cilindro hidráulico.

- Las puntas son conos esféricamente truncados. El cono es de 60° y el radio de la esfera es de 5 mm y deben coincidir tangencialmente.



Figura 24. El cilindro hidráulico es accionado mediante una bomba hidráulica manual a través del cual se aplica la carga de compresión sobre la muestra.

2.3 PROCEDIMIENTO.

Ensayo diametral.

- a) Los testigos de forma cilíndrica apropiados para este ensayo son los que tienen relación longitud/ diámetro mayor que 1.
- b) El testigo es colocado en la máquina de ensayo y las puntas cónicas deben juntarse hasta hacer contacto con un diámetro del testigo, asegurando que la distancia L entre el punto de contacto y la base libre más cercana sea 0.5 veces el diámetro D o mayor.
- c) Si la muestra es de material blando de manera que se produzca una significativa penetración de las puntas en el momento de la falla, debe registrarse esta distancia como D .
- d) La distancia D es registrada con aproximación al 0.001mm.
- e) La carga es aplicada bombeando en forma constante de manera que la falla ocurra dentro de los 10 o 60 segundos de iniciada la carga.
- f) Se anota la carga de ruptura P .
- g) Si la superficie de falla pasa solo a través de un punto de carga, el ensayo no será considerado válido.

Cálculos.

El esfuerzo de carga puntual.

FÓRMULA MATEMÁTICA:

$$I_s = P/D^2$$

Donde:

I_s = Índice de Carga Puntual Franklin (Kg/cm²).

P = Carga última de ruptura (Kg).

D = Diámetro de la probeta (cm).

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = P / D_e^2 \text{ Mpa}$$

Donde:

- P = carga de Falla, N, (debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es: $P = \text{valor medido en la maquina} * 14.426 \text{cm}^2$).
- D_e = diámetro del núcleo equivalente = D para muestras diametrales, y es dada por:
- $D_e^2 = D^2$ para muestras diametrales, mm².
- $D_e^2 = 4A / \pi$ para muestras irregulares, donde: $A = W D$ = área de la sección transversal mínima.

Correcciones:

- I_s varía como una función de D en el ensayo diametral y como una función de D_e en el ensayo axial, de bloques y pedazos irregulares, por eso se debe aplicar una corrección para obtener un valor único de esfuerzo de carga puntual para una muestra de roca, y para que este valor pueda ser usado para propósitos de clasificación de la roca.
- El valor de esfuerzo de carga puntual corregido.

Observaciones:

Cuando se introdujo el ensayo de carga puntual se usó principalmente para predecir el esfuerzo de compresión uniaxial que en ese entonces era el ensayo establecido para la clasificación de la roca. Ahora el esfuerzo de carga puntual puede reemplazar al ensayo de compresión uniaxial si se realiza siguiendo las normas establecidas.

Referencias.

ASTM D 5731-95 ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength.

IX.III PRUEBA BRAZILEÑA.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (Brasileña).

1. OBJETIVO:

Este ensayo tiene por finalidad determinar el esfuerzo de tracción de una roca a través de la aplicación de una carga lineal de compresión sobre un diámetro del disco de roca a ensayar. El esfuerzo de tracción debería ser obtenido de un ensayo de tracción uniaxial directa, pero este ensayo es difícil y caro de ser realizado repetidamente.

2. USO.

El valor de esfuerzo a la tracción se utiliza para graficar el círculo de Mohr σ_c , σ_t en la envolvente de esfuerzos.

3. TEORIA.

En este ensayo, el disco de roca es sometido a una carga lineal de compresión actuando sobre un diámetro. El resultado de este esfuerzo de compresión es una tensión horizontal y un esfuerzo de compresión vertical variable. Cerca de los bordes de contacto, los esfuerzos compresivos toman valores máximos, lo que puede causar un fracturamiento local. Esta anomalía se reduce empleando testigos con relación espesor/diámetro de 0.5 y colocando un apoyo adicional entre la roca y los bloques de la máquina en los puntos de carga. La fractura inicial producida sobre el testigo será el resultado del esfuerzo de tracción que ocurre en el centro del disco. Esta fractura es inducida, por lo que el resultado del esfuerzo a la tracción obtenida a partir de este ensayo será algo mayor del que se obtiene de un ensayo de tracción directa en donde el testigo tiene más opción a fallar por la zona de menor resistencia.

4. EQUIPO.

Máquina de ensayos. Una prensa que puede aplicar y medir la carga diametral sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.

Apoyos suplementarios. Entre el testigo y los bloques de apoyo se colocan unos apoyos adicionales que permiten reducir la alta concentración de esfuerzos. Estos apoyos pueden ser pedazos de cartón grueso (0.01D de espesor).

5. PREPARACIÓN DE TESTIGOS.

- Los testigos deben ser discos circulares con una relación espesor/diámetro entre 0.5 y 0.75.- El diámetro del testigo debe ser por lo menos 10 veces mayor que el grano más grande del mineral que forma la roca. Un diámetro de 4.92 cm por lo general satisface este criterio. Cuando el diámetro es menor que el indicado y se deben ensayar pues no hay disponibilidad de material, se debe anotar este hecho en el informe. Se determinará el diámetro del testigo con una aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el diámetro que se va ensayar.



Figura 25. Se muestra midiendo el testigo, esta acción se realiza 3 veces para obtener un promedio.



Figura 26. En la imagen se puede observar cómo se toma la medida promedio para determinar el espesor del disco.

- Se determinará el espesor del disco con aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el eje del disco.



Figura 27. Se observa cómo se procede a cortar el testigo.

6. PROCEDIMIENTO.

- La orientación vertical del testigo está determinada por el diámetro trazado encada testigo, de manera que esta línea debe ser usada para centrar al testigo en la máquina de ensayos y asegurar una orientación apropiada.
- Se procede a pesar en la balanza para determinar su peso en kilogramos.
- El testigo debe ser instalado en la máquina de ensayos asegurando que la carga sea aplicada sobre el diámetro trazado y que los apoyos adicionales coincidan también con la superficie de apoyo.



Figura 28. Se observa claramente la muestra lista para ser ensayada y los valores en cero.

- Aplicar la carga normal con velocidad constante de manera que la falla se produzca entre 1 y 10 minutos luego de iniciar el ensayo dependiendo del tipo de roca.

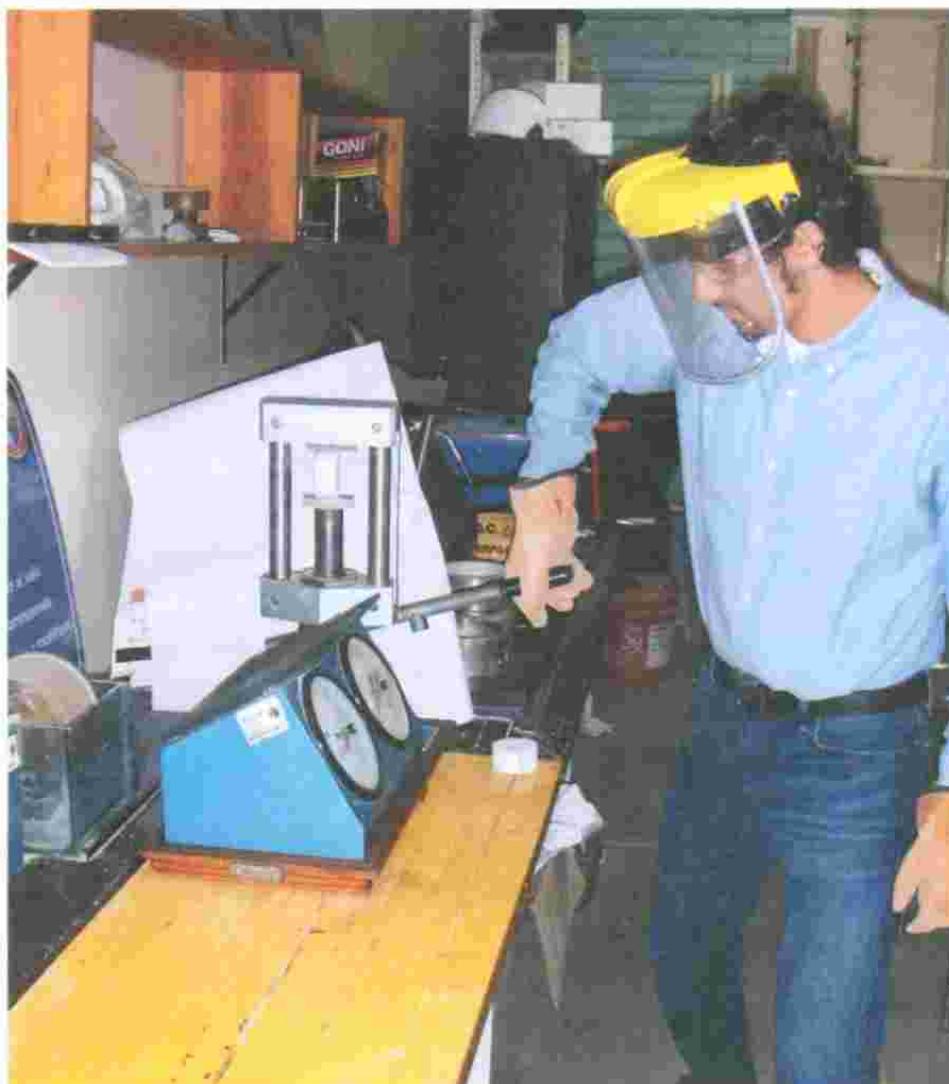


Figura 29. Se observa cómo se aplica la carga a la prensa, al igual que se debe de contar con todo el equipo de protección personal.

- Registra el valor máximo de la carga aplicada sobre el testigo.



Figura 30. Se pueden apreciar los resultados del ensayo en la muestra y los valores obtenidos.

7. CÁLCULOS.

El esfuerzo de tracción indirecta del testigo se halla calculando como sigue:

$$\sigma_t / (\pi LD) = 2P$$

σ_t = esfuerzo de tracción indirecta, MPa o kg/cm²

P = máxima fuerza aplicada sobre el testigo, kg

L = espesor del testigo, cm

D = diámetro del testigo, cm

8. INFORME.

El informe debe incluir lo siguiente:

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo.
- Número, longitud, espesor, carga máxima, esfuerzo a la tracción de cada testigo.
- Valor promedio del esfuerzo a la tracción de la muestra.
- Esquema del tipo de falla de los testigos.
- Observaciones.

Referencias.

- ASTM D 3967I.

ISRM Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazil.

IX.IV) PRUEBA DE PROPIEDADES FISICAS.

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS ROCAS.

(Humedad, porosidad, densidad seca y absorción).

1. OBJETIVO.

Determinar las propiedades físicas de las rocas utilizando el Principio de Arquímedes para la determinación del volumen.

2. USO.

Durante todos los ensayos que se realizan en laboratorio es importante determinar el valor de humedad de la roca para luego anotarla en el informe ya que los resultados pueden variar según el contenido de agua. La presencia de poros en la estructura de un material de roca hace que decrezca su resistencia y se incremente su deformabilidad. Una pequeña fracción de volumen de poros puede producir un efecto apreciable en las propiedades mecánicas de las rocas. En algunos casos el valor de porosidad es suficiente pero para una descripción completa se requerirá además del valor de densidad. Un valor bajo en la densidad seca de la roca generalmente concuerda con un valor de porosidad alto. El valor de densidad es utilizado para obtener el peso a partir del conocimiento del volumen (m^3) en el cálculo de reservas de mineral y como dato a introducir en los modelos numéricos. El valor de absorción nos da una idea de cuánta agua puede introducirse en una roca y por lo tanto cuanto puede aumentar la presión de poros, lo cual hace que decrezcan los valores de resistencia y esfuerzo en las rocas.

3. TEORIA.

Toda roca tiene en su estructura interior una cierta cantidad de espacios libres, los cuales normalmente están rellenos con líquidos y/o gases (en general agua y aire). Esto hace que se pueda considerar a la roca como un material de tres fases: sólida (material mineral), líquida (agua u otros líquidos) y gaseosa (aire u otros gases). Entonces toda roca puede encontrarse en alguna de las siguientes condiciones: saturada, con las tres fases o seca. Las propiedades físicas podrán ser definidas en los siguientes términos:

Contenido de agua o humedad	$\omega = M_w \times 100(\%) / (M_s)$
Grado de saturación	$S_r = V_w \times 100 (\%) / (V_v)$
Porosidad	$\eta = V_v(\%) / V$
Relación de vacíos	$e = V_v / V_s$
Densidad "bulk" (másica)	$\rho = M / V = (M_s + M_w) \text{ (kg/m}^3\text{)} / V$
Densidad seca	$\rho_d = M_s \text{ (kg/m}^3\text{)} / V$
Densidad de sólidos	$\rho_s = M_s \text{ (kg/m}^3\text{)} / V_s$
Gravedad específica	$G_s = \rho / \rho_w$

Donde:

M_w = masa de agua	V_s = volumen de suelo
M_s = masa del suelo	V_v = volumen de vacíos
M = masa de la muestra	V = volumen de la muestra
V_w = volumen de agua	

Las propiedades físicas están relacionadas entre sí, de tal manera que cualquier propiedad puede ser calculada si se conocen otras tres. Sin embargo si conocemos los siguientes parámetros podremos definir todas las propiedades físicas:

- Volumen externo.
- Peso seco.
- Peso saturado.
- Peso en condiciones ambientales.

4. Equipo.

- Un horno capaz de mantener una temperatura de 105°C con una variación de 3°C por un periodo de 24 horas.



Figura 31. Se muestra el horno.

- Una balanza con capacidad adecuada (1500 g.), capaz de determinar el peso con una aproximación de 0.01 g.
- Una canastilla de alambre suspendida desde la balanza por un alambre delgado de manera que solo el alambre intercepte a la superficie de agua del baño de inmersión.

- Un baño de inmersión de manera que la canastilla quede sumergida en agua y pueda estar libremente suspendida desde la balanza para lograr determinar el peso saturado sumergido.



Figura 32. Se muestra el densímetro acabando de aplicar el agua y ajustando el nivel de esta.

- Recipientes de material no corrosible.
- Un recipiente con agua para saturar las muestras.

5. PROCEDIMIENTO.

- La muestra debe ser representativa y estar conformada como mínimo de 3 pedazos de roca de geometría irregular o regular, cada uno debe pesar por lo menos 50 gr. o tener una dimensión de por lo menos 10 veces el tamaño máximo del grano, escogiendo el que sea el mayor.



Figura 33. Se muestra el valor del peso de la muestra en seco.

- Se limpia para eliminar el polvo que se encuentre adherido a ella y luego se pesa determinando M .
- Se sumerge en el recipiente con agua por un periodo de por lo menos una hora agitándola periódicamente de manera que se remueva el aire atrapado en la roca.
- La muestra se coloca en la canasta de inmersión y se determina la masa M_{sub} .



Figura 34. Se muestra el valor del a muestra sumergida en agua.

Se retira del baño de inmersión y se seca superficialmente con un paño húmedo, teniendo cuidado de retirar solo el agua superficial y no se pierdan fragmentos de roca. Se pesa obteniendo M_{sat} .



Figura 35. La muestra se retira del baño de inmersión y se obtiene el peso saturado.

- La muestra es colocada dentro de un recipiente limpio y seco e introducido en el horno a una temperatura de 105°C. Se seca por un día y luego se pesa la muestra obteniendo Ms.



- Figura 36. La muestra se coloca en el horno para dejar secando durante 24 horas.
- Repetir todo el procedimiento para cada pedazo de la muestra.

6. CÁLCULOS.

Se calcula los siguientes valores para cada muestra:

$$V = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}}{\rho_w} \text{ (volumen total)}$$

$$V_v = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{\rho_w} \text{ (volumen de vacíos)}$$

$$\omega = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100\% \text{ (contenido de agua)}$$

$$\eta = \frac{V_v}{V} \times 100\% \text{ (Porosidad)}$$

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \text{ (densidad seca)}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(M_{\text{sat}} - M_s)}{M_s} \times 100\%$$

7. INFORME.

El informe debe incluir:- Una tabla indicando nombre y número de muestra y los valores de: M, M_{sat}, M_{sub}, M_s, V, V_v, η, ω, ρ_d y absorción de cada testigo.

- Hallar los valores promedios de humedad, porosidad, densidad seca y absorción de la muestra.

- Presentar una tabla resumen indicando el nombre de la muestra y los valores promedios de humedad, densidad seca, porosidad y absorción.

		Universidad de Sonora									
		Departamento de Ingeniería Civil y Minas									
		Laboratorio de Mecánica de Rocas									
		Prueba de Densidad y Propiedades Físicas									
		Masa	Masa Saturada	Masa Sumergida en Agua	Masa después del Horno	Volumen Total	Volumen de Vacíos	Porosidad	Contenido de Agua	Densidad Seca	Absorción
Muestra	No. Muestra	M (g)	Msat (g)	Msub (g)	Ms (g)	V (cm ³)	Vv (c)	η (%)	ω (%)	ρ _d (g/cm ³)	(%)
1090wKD-VT-01	VT-01	106.39	106.27	65.37	105.51	40.9	0.76	1.86	0.83	2.58	0.72
1090wKD-VT-02	VT-02	155.58	154.2	92.7	151.38	61.5	2.82	4.59	2.77	2.46	1.86
860sBH-VT-03	VT-03	136.06	134.9	79.91	130.52	54.99	4.38	7.97	4.24	2.37	3.36
860sBH-VT-04	VT-04	69.98	69.87	42.56	69.23	27.31	0.64	2.34	1.08	2.53	0.92
860sCO-VT-05	VT-05	162.9	162.48	100.88	160	61.6	2.48	4.03	1.81	2.60	1.55
760NCO-VT-06	VT-06	106.22	105.4	62.96	102.65	42.44	2.75	6.48	3.48	2.42	2.68

Tabla 10.

El Volumen total se obtiene Masa Saturada restándole la Masa Sumergida entre 1, la formula seria la siguiente: (Msat- Msub)/1.

El volumen de vacíos se obtiene masa saturada restándole la masa después del horno entre 1, la formula seria la siguiente: $(M_{sat} - M_s)/1$.

La porosidad se obtiene de la siguiente manera el volumen de vacíos entre el Volumen total multiplicado por 100, la formula seria la siguiente: $(V_v / V) * 100$.

El contenido de agua se obtiene de la siguiente manera la masa restándole la masa después del horno entre la Masa después del horno multiplicado por 100, La fórmula seria la siguiente: $((M - M_s) / M_s) * 100$.

La densidad Seca se obtiene de la siguiente manera masa después del horno dividido entre volumen total, la formula seria la siguiente: (M_s / V) .

La absorción se obtiene de la siguiente manera la masa saturada restándole la masa después del horno entre la masa después del horno multiplicado por 100, la fórmula seria la siguiente: $((M_{sat} - M_s) / M_s) * 100$.

- Especificar el método con el cual se ha obtenido el volumen de la muestra.
- Las precauciones tomadas para conservar el contenido natural de humedad durante el almacenaje deben ser especificadas.
- Los valores de densidad seca deben ser anotados con una aproximación de 10 kg/m³, el valor de porosidad con aproximación al 0.1%, el contenido de humedad y absorción debe ser anotado con una aproximación de 0.1 %.
- La presencia de micro-fracturas de espesor similar al de los poros podría causar resultados erráticos por lo que su presencia se debe anotar en el informe.

Referencias.

ASTM D2216-98I.

SRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties.

X) CONCLUSIONES.

El haber realizado este manual nos satisface demasiado, porque no se contaba con una fuente impresa en el laboratorio que brindara un seguimiento esquemático sobre la realización de los diversos tipos de pruebas que se realizan actualmente en el laboratorio.

Fue un trabajo de varios meses comparando diferentes autores y varias fuentes de información, recopilando la mayor información y seleccionando cada una de palabras escritas, para lograr tener al final una información clara y precisa para el entendimiento de quien quiera hacer uso de este.

La realización de este manual nos da una perspectiva más amplia sobre el tema de mecánica de rocas y nos enriquece en el ámbito profesional, ya que adquirimos un poco más de información que desconocíamos. Gracias a la investigación realizada logramos trabajar en equipo observándonos los puntos buenos de cada uno aprender a interpretar el razonamiento de cada uno y lograr llegar a un punto donde estuviéramos de acuerdo y poder centrar las ideas de cada quien.

Por lo que con lleva a lo personal de cada uno agradecemos a una persona que fue sumamente importante a la realización de este manual de laboratorio de mecánica de rocas la Ing. Brenda María Quijada Mayorquín, persona que nos estuvo aconsejando a lo largo de la realización de este manual, también agradecemos a cada uno de los autores que en ellos encontramos información importante.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

<http://es.scribd.com/doc/26153798/Manual-Del-Lab-Oratorio-Mecanica-de-Rocas-corregido#scribd>

http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

<http://es.slideshare.net/Evargs1992/ensayos-en-mecanica-de-rocas>

<http://es.scribd.com/doc/92087646/CARGA-PUNTUAL#scribd>

http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/proteccion/image012.jpg>

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRIULT-fvAa7r2b3Z-hm07ozlpBllj5axZyl6T5ONr1mSf04pBe>

<http://www.miconstruquia.com/wp-content/uploads/2013/02/respirator-8210V-N-95.jpg>

<http://www.jigeneral.com/images/proteccion-corporal/mandil-pvc.jpg>

<http://www.peinsa.com.mx/modules/catalog/images/Zapato%20de%20seguridad%20ZEUS.jpg>

http://www.btcperu.com.pe/file/productos/40_thumb_guantes-conductor-piel-amarillos.jpg

<https://es.wikipedia.org/wiki/Anisotrop%C3%ADa>

<http://www.tenso.es/utilidades/glosario.asp?termino=Kilogramo-Fuerza>

<http://www.inyge.cl/html/gsi.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Pascal_\(unidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Pascal_(unidad))

<https://es.wikipedia.org/wiki/Litolog%C3%ADa>

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec2/2_6.htm

<http://www.aminera.com/index.php/mineria-nacional/item/5958-la-ruta-del-testigo.html>

https://encryptedtbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTBdbEBfD4pMfshSjSylzXEKx_W-tQr4F2jy4wWV6EDoQb_NNVezg

GLOSARIO.

ANISOTROPIA: Es la propiedad general de materia según la cual cualidades como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. La anisotropía de los materiales es más acusada en los sólidos cristalinos, debido a su estructura atómica y molecular regular.

BARRENO: Pozos cilíndricos extrayendo el material sólido perforado.

BRITISH STANDARD 1610: Es una multinacional cuyo fin se basa en la creación de normas para la estandarización de procesos. BSI es un organismo colaborador de ISO. Lo que conlleva al apartado 1610 se encarga de Materiales de máquinas de ensayo y equipos de verificación vigente. Especificación para la clasificación de las fuerzas aplicadas por las máquinas de ensayo de materiales cuando se utiliza en el modo de compresión.

HETEROGÉNEA: Qué está formado por diferente elemento o naturaleza.

ÍNDICE DE RESISTENCIA Is: Es usado para evaluar la resistencia de macizos rocosos. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos.

KILOGRAMO-FUERZA: kilogramo es la unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades y su patrón está definido por la masa que tiene el cilindro patrón. Unidad de peso, aunque debiera hacerse bajo el nombre de kilogramo-fuerza. El kilogramo-fuerza se corresponde, aproximadamente, con el peso de una masa de 1 kilogramo situada en la superficie terrestre, a nivel del mar. La definición sólo es correcta en la Tierra, por cuanto interviene el valor de la gravedad.

KILO-PASCALES: El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma 10^3 kPa .

LITOLOGÍA: La litología es la parte de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, como su tamaño de grano, características físicas y químicas, estructuras sedimentarias, etc. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.

Entendemos por roca una masa de materia mineral coherente, consolidada y compacta. Se puede clasificar por su edad, su dureza o su génesis (ígneas, sedimentarias y metamórficas).

RAZÓN DE POISSÓN: Una constante elástica que es una medida de la compresibilidad de un material perpendicular al esfuerzo aplicado, o la relación entre la deformación latitudinal y la deformación longitudinal.

RESISTENCIA CORREGIDA: Es una fórmula matemática utilizada para la corrección de esfuerzos en relación entre la longitud y el diámetro.

RESISTENCIA ULTIMA: Es el término resistencia última está relacionado con el esfuerzo máximo que un material puede desarrollar.

TESTIGO: Es un cilindro de roca, sacado después de la perforación al subsuelo.

UNIAXIAL: Que tiene un eje.

ZONA DE FALLAMIENTO: Lugar representativo por su alto grado de zonas de fallas e interperismo.